

**Гоголь Феликс Витальевич**

**ДИНАМИКА ЦЕНТРОВ ДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ  
ПЕРВОГО ЕСТЕСТВЕННОГО СИНОПТИЧЕСКОГО РАЙОНА  
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА  
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН В ЗИМНИЙ ПЕРИОД**

Специальность 25.00.30 – метеорология,  
климатология, агрометеорология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Казань – 2010

Работа выполнена на кафедре метеорологии, климатологии  
и экологии атмосферы в ГОУ ВПО «Казанский государственный  
университет им. В.И.Ульянова-Ленина»

**Научный руководитель:** доктор географических наук, профессор  
**Переведенцев Юрий Петрович**

**Официальные оппоненты:** доктор географических наук, профессор  
**Васильев Александр Александрович**

доктор физико-математических наук, профессор  
**Хуторова Ольга Германовна**

**Ведущая организация:** ГОУ ВПО «Пермский государственный  
университет»

Защита диссертации состоится 3 июня 2010 г. в 15 часов на заседании  
диссертационного совета Д.212.081.20 в Казанском государственном универ-  
ситете им. В.И.Ульянова-Ленина по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлев-  
ская, 18, корп. 2, ауд. 1512

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И.Лоба-  
чевского ГОУ ВПО «Казанский государственный университет им. В.И.Улья-  
нова-Ленина».

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» апреля 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук, доцент

Хабутдинов Ю.Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Центры действия атмосферы (ЦДА) представляют собой крупномасштабные структурные образования общей циркуляции атмосферы (ОЦА), непосредственно влияющие на распределение давления и движений в тропосфере, волновые переносы импульса, тепла, влаги и прочих физических субстанций, интенсивность циклонической и антициклонической деятельности. ЦДА во многом определяют характер погоды и климата обширных территорий Земли.

Важный вклад в изучение теории возникновения и развития ЦДА внесли работы К. Россби, Е.Н. Блиновой, А.С. Мониной, И.И. Мохова и др. В работах синоптического плана рассмотрена динамика ЦДА за длительный период, приведена статистика их местоположения и интенсивности. В Казанском университете, начиная с работ П.Т. Смолякова и Н.В. Колобова на протяжении многих десятилетий велись исследования по ОЦА в целом, динамике ЦДА, изучению циклоничности и антициклоничности в системе ОЦА в целях долгосрочного прогноза погоды.

Данная работа продолжает эти традиции и в ней главное внимание уделено динамике трех центров действия атмосферы – исландского минимума, азорского максимума и сибирского максимума, оказывающих сильное влияние на формирование погоды и климата в Европейской части России. В частности, в работе впервые рассматривается связь между характеристиками указанных ЦДА и климатическими показателями Республики Татарстан (РТ) в период, приходящийся на наиболее активную фазу глобального потепления климата 1970-х – начало XXI столетия.

Актуальность темы обусловлена важной ролью ЦДА в формировании погодно-климатических условий региона и слабой изученностью механизма воздействия ЦДА на погоду и климат РТ в последние десятилетия.

**Целью настоящей работы** является исследование динамики параметров центров действия атмосферы первого естественного синоптического района (I ЕСР) в зимний период и оценка их влияния на формирование погодно-климатических условий Республики Татарстан.

**Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:**

1. Разработка методики получения и статистической обработки данных о состоянии ЦДА.
2. Исследование закономерностей пространственно-временных изменений параметров ЦДА за период 1948–2009 гг., взаимосвязей в их динамике.
3. Изучение изменения основных показателей климата на территории Республики Татарстан в исследуемый период.
4. Получение количественных оценок влияния параметров ЦДА на температурный режим и режим осадков на территории Республики Татарстан.

**Использованные данные.** В качестве исходных данных использованы данные NCER реанализа (<http://www.cdc.noaa.gov>) атмосферного давления, приведенного к уровню моря в узлах регулярной географической сетки с шагом по широте и долготе 2,5 на 2,5° (1948–2009 гг.); индексы NAO (1948–2009 гг.), данные приземных метеорологических наблюдений по территории Республики Татарстан с 1966 по 2004 год (ГУ ВНИИГМИ-МЦД, г.Обнинск); данные метеорологической станции Казань, университет (1948–2009 гг.).

Достоверность и обоснованность результатов подтверждается применением методов статистического анализа (корреляционный, регрессионный, дискриминантный анализы) и оценкой достоверности полученных результатов, а также соответствием полученных результатов основным положениям динамической метеорологии и климатологии.

#### **Научная новизна работы:**

1. По данным за 1948–2009 гг. изучены пространственно-временные изменения характеристик ЦДА I ЕСР зимой.
2. Выявлены количественные взаимосвязи в поведении параметров ЦДА и индексов Северо-Атлантического колебания (САК или NAO).
3. Проанализированы изменения климатических показателей Республики Татарстан в современный период.
4. Впервые получена количественная оценка влияния ЦДА на климат Республики Татарстан в современный период.

#### **Основные положения и результаты, выносимые на защиту:**

1. Пространственно-временные закономерности изменения и особенности взаимосвязей основных характеристик ЦДА в период интенсивного глобального потепления.
2. Выявленные тенденции в изменениях основных показателей климата на территории РТ за последние десятилетия.
3. Физико-статистический механизм влияния ЦДА на погодно-климатические условия РТ.
4. Оценка влияния параметров ЦДА на температурный режим и режим осадков на территории РТ.

**Научно-практическая ценность работы.** Полученные в работе результаты используются в учебном процессе при чтении лекций по курсам «Климатология», «Теория общей циркуляции атмосферы». Кроме того, результаты могут использоваться при составлении долгосрочных метеорологических прогнозов погоды на исследуемой территории.

### **Апробация работы.**

Основные результаты диссертационной работы изложены в 14 публикациях, из которых 7 опубликованы в изданиях перечня ВАК. Результаты исследований докладывались и обсуждались:

- на Международной школе-конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Изменение климата и окружающей среды», РГГМУ, 2005 г., г. Санкт-Петербург;
- на второй конференции молодых ученых Национальных Гидрометслужб государств-участников СНГ «Новые методы и технологии в гидрометеорологии», 2006 г., г. Москва;
- на Всероссийской научно-практической конференции «Природно-ресурсный потенциал Республики Татарстан и сопредельных территорий», 2007 г., г. Казань;
- на Всероссийской научно-прикладной конференции «Региональные аспекты глобальных изменений климата и их последствия», 2008 г., г. Калуга;
- на Всероссийской научной конференции «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований», 2009 г., г. Казань;
- на Международной научно-практической конференции «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: опыт, проблемы, поиски решения», 2010 г., г. Казань;
- на итоговых научных конференциях и научных семинарах кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета в 2005–2010 гг.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений. Список использованных источников содержит 93 наименования. Общий объем диссертации (без приложений) составляет 102 страницы машинописного текста, включая 9 рисунков, 23 таблицы и 10 приложений.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность проблемы, формулируются цель и задачи исследования, положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** работы рассмотрены основные определения и понятия, касающиеся ЦДА, а также представлен обзор их исследований по литературным источникам (состояние вопроса).

В частности, подчеркивается, что ЦДА представляют не меньший интерес, чем обычные циклоны и антициклоны, так как они находятся над определенной территорией в течение длительного времени, определяя тем самым состояние погоды и в сопредельных регионах.

Как известно, в конце 19-го столетия Тейсеран де Бор, пришел к выводу, что основные черты погоды в Европе зависят от интенсивности и динамики крупных барических образований – азорского и сибирского максимумов, а также исландского минимума. В 1888 г. Б.И. Срезневский выявил, что происхождение штормов на Азовском и Чёрном морях в более половине случаев связано с деятельностью антициклонов. Таким образом, уже к концу 19-го века в метеорологии окончательно утвердилось понятие «Центры действия атмосферы». В середине 20 века известный отечественный климатолог С.П. Хромов дал современную трактовку ЦДА. Позднее С.П. Хромов представил классификацию ЦДА, согласно которой все ЦДА делятся на перманентные (круглогодичные) и сезонные. В работах К. Россби и Е.Н. Блиновой исследовались особенности формирования ЦДА с использованием механизма длинных волн, существенная часть энергии которых заключена в стационарной составляющей, проявляющейся в положительных и отрицательных аномалиях осредненного по времени поля давления в тропосфере. Определенный вклад в исследование ЦДА внесён и сотрудниками Казанского университета под руководством профессора Н.В. Колобова, изучавшими особенности режима циклоничности и антициклоничности во внетропических широтах северного полушария по данным ежемесячных синоптических карт за период с 1949 по 1968 гг.

В современный период существенный вклад в исследование ЦДА и их влияние на климат различных территорий внесён сотрудниками РГГМУ Н.П. Смирновым, В.Н. Воробьевым, С.Ю. Качановым. В работах И.И. Мохова, В.Ч. Хона проведен анализ межгодовых и долгопериодных изменений характеристик ЦДА, расположенных в Северном полушарии с использованием различных эмпирических данных, относящихся к периоду с конца XIX до начала XXI вв. и результатов реанализа, выявлены значимые изменения их характеристик в период, когда приповерхностное потепление наиболее значительно.

В работе И.И. Зверьева и С.К. Гулева показана роль Северо-Атлантического колебания в формировании полей температуры и осадков на территории Европы в 20-м веке и установлено, что максимальный вклад САК в их межгодовые изменения наблюдается зимой.

Согласно анализу, выполненному Л.Т. Матвеевым, существенный вклад в эволюцию атмосферных вихрей вносят термическая адвекция и характер меридионального смещения вихря. Исследования В. Старра и Н.С. Сидоренкова показали, что смещение воздушных масс по направлению от экватора к полюсам происходят в периоды замедляющегося вращения Земли.

По данным В.В. Поповой и А.Б. Шмакина современное потепление с середины 1970-х годов связано с усилением зонального переноса при положительной фазе индекса САК, который в этот период играл основную роль в колебаниях температуры. Вместе с тем Е.С. Нестеров показал, что наибольшие изменения в циркуляционном и температурном режимах в

атлантико-европейском регионе возникают в случае сочетания положительной фазы САК и отрицательной фазы восточно-атлантического колебания.

Согласно исследованию А.В. Дзюбы положительной фазе САК соответствует повышенная повторяемость отрицательных аномалий давления в субполярной Атлантике и, как следствие, усиленная циклоническая завихренность атмосферы в районе Исландии. В субтропических широтах при положительной фазе САК преобладает частота появления положительных аномалий давления. Поэтому преобладающая в зоне от субтропиков до заполярных широт западная составляющая переноса в тропосфере усиливается. При отрицательной фазе САК наблюдается обратная картина, в том числе и в режиме облачности и интенсивности теплообмена океана с атмосферой.

Таким образом, изучение ЦДА и их влияния на климат остается и по настоящее время актуальным направлением в современной метеорологии.

**Во второй главе** исследуются особенности многолетней пространственной миграции и изменений интенсивности исландского, азорского и сибирского ЦДА в пределах I ЕСР в зимний период (декабрь, январь, февраль).

Показано, что все указанные ЦДА при переходе от месяца к месяцу претерпевают определённые внутрисезонные изменения, как в местоположении, так и в значениях атмосферного давления, что, в свою очередь, приводит к соответствующим изменениям направленности и интенсивности крупномасштабного воздухообмена в пределах I ЕСР. При этом наиболее выраженными (интенсивными) ЦДА оказываются в январе. Кроме того, следует отметить, что зимой в пространственной динамике Северо-Атлантических ЦДА преобладает составляющая движения вдоль широтных кругов (в зональном направлении). В начале зимы в среднем и исландский минимум, и азорский максимум располагаются несколько восточнее, находясь ближе к Европе, а к концу зимы, напротив, смещаются к западной части Атлантического океана. Что касается меридиональной составляющей движения Северо-Атлантических ЦДА, то она менее заметна, хотя к февралю наблюдается некоторое квазисинхронное их смещение в более южные широты, как исландского минимума, так и азорского максимума.

Полученные нами средние многолетние данные о местоположении и интенсивности Северо-Атлантических ЦДА за период 1948–2009 гг. сопоставлялись с данными других авторов (Мартынова Т.В., Смирнов Н.П., Воробьев В.Н.) за предшествующие периоды времени. Оказалось, что по данным, полученным нами, во все месяцы зимы азорский максимум был в среднем более интенсивным, а исландский минимум более глубоким, чем по данным вышеупомянутых авторов. Полученные различия объясняются использованием разного исходного материала и объемом выборки. Так, в работе сотрудников РГГМУ для определения характеристик центров действия использовались данные по более редкой сетке ( $5^\circ$  по широте и  $10^\circ$  по долготе) за период времени с 1890 по 1995 годы. Определенные различия наблюдаются и в значениях пространственного положения ЦДА. По данным за 1948–

2009 гг. исландский минимум зимой располагается южнее, а азорский максимум, напротив, несколько севернее.

Всем ЦДА свойственна многолетняя изменчивость как их интенсивности, так и местоположения (табл.1). Следует отметить, что в большинстве случаев изменчивость местоположения ЦДА относительно больше изменчивости их интенсивности. При этом изменчивость долгот преобладает над изменчивостью широт.

**Таблица 1**

**Основные статистические характеристики ЦДА за период 1948–2009 гг.**

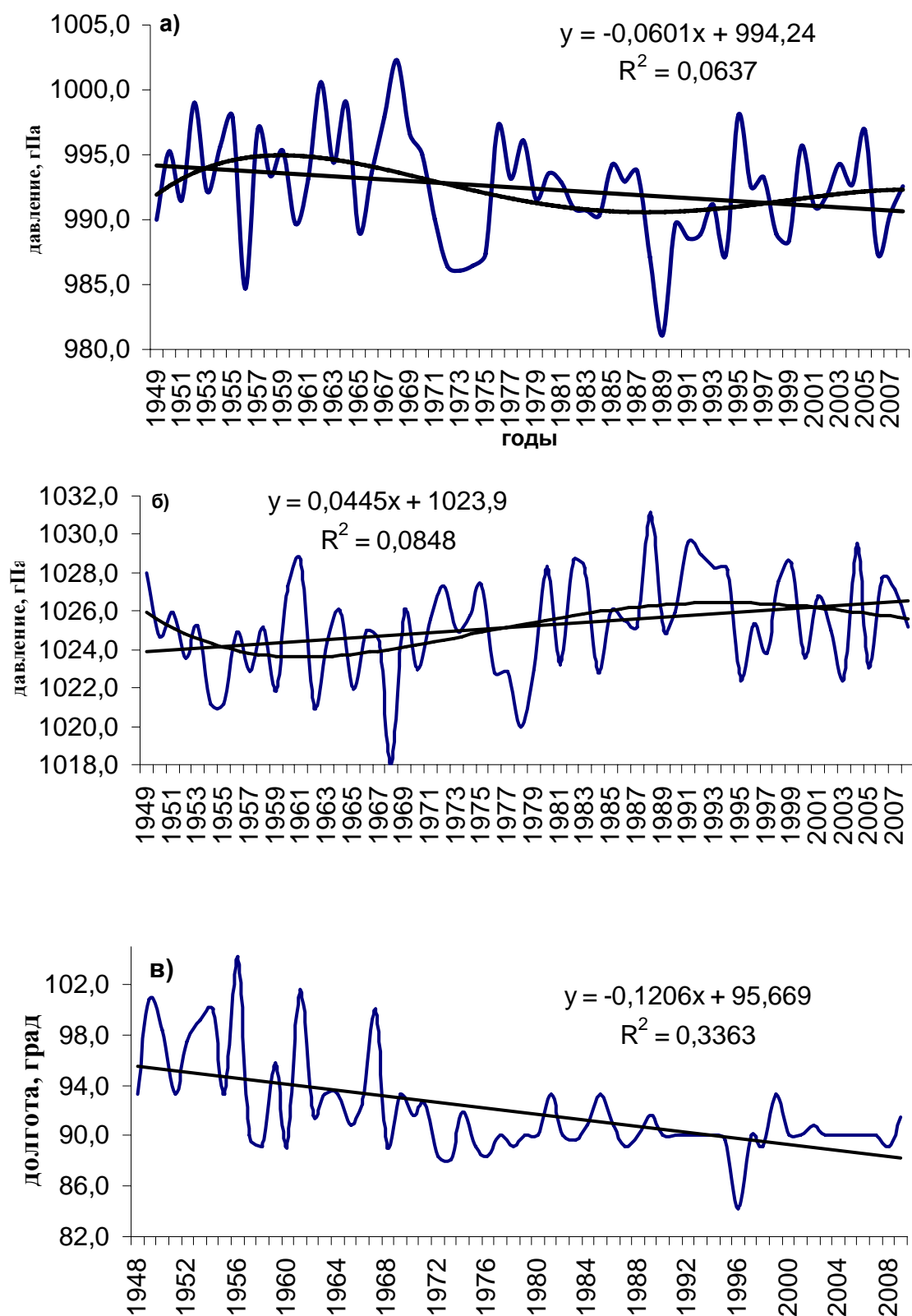
Показатели изменчивости	азорский максимум			исландский минимум			сибирский максимум		
	декабрь	январь	февраль	декабрь	январь	февраль	декабрь	январь	февраль
$\bar{p}$ , гПа	1025,0	1025,7	1025,0	992,6	991,4	993,1	1040,8	1041,2	1037,8
$\bar{\varphi}$ , град	36,6	35,9	35,7	62,4	61,9	61,4	46,5	49,8	51,3
$\bar{\lambda}$ , град	–19,5	–20,5	–24,6	–19,3	–22,9	–24,8	91,0	92,0	92,6
$\sigma_p$ , гПа	3,2	4,2	4,0	5,6	6,3	7,0	4,1	3,6	4,3
$A_p$ , гПа	12,1	17,5	18,7	23,4	33,7	32,9	19,1	15,0	24,1
$\sigma_\varphi$ , град	6,3	6,7	8,0	5,8	6,4	7,2	6,4	2,4	4,0
$A_\varphi$ , град	25,0	35,0	37,5	27,5	27,5	37,5	20,0	20,0	20,0
$\sigma_\lambda$ , град	17,7	17,3	16,9	28,5	25,0	27,7	4,8	5,4	6,8
$A_\lambda$ , град	90,0	82,5	80,0	102,5	102,5	127,5	37,5	25,5	27,5

Примечание:  $\bar{p}, \bar{\varphi}, \bar{\lambda}$  – средние значения,  $\sigma_p, \sigma_\varphi, \sigma_\lambda$  – среднеквадратические отклонения, а  $A_p, A_\varphi, A_\lambda$  – амплитуды колебания давления, широты и долготы соответственно.

Сравнение пространственной динамики ЦДА показало, что наиболее подвижными являются исландский минимум и азорский максимум. Особенно это касается их смещения в зональном направлении. Местоположение сибирского максимума зимой является наименее изменчивым в сравнении с



Северо-Атлантическими центрами как в зональном, так и меридиональном направлении.



**Рис. 1.** Изменение атмосферного давления в центре исландского минимума (а), азорского максимума (б) и долготы сибирского максимума зимой (в).

Наибольших значений разности атмосферного давления между центральными частями ЦДА достигают в январе, за исключением сибирского и азорского максимума, это еще раз подтверждает, что именно в январе на пространстве I ЕСР возрастает интенсивность воздухообмена и неразрывно связанная с ним активность синоптических процессов.

С использованием приёмов полиномиального сглаживания предпринята попытка выявить в исходных рядах наличие неслучайных (систематических) составляющих (трендов) и их направленности. Установлено, что линейная составляющая в многолетней динамике характеристик ЦДА в среднем за зиму представлена достаточно слабо, за исключением эволюции атмосферного давления в центральной части исландского минимума и азорского максимума и тенденции перемещения сибирского максимума к западу (рис. 1).

Использование полиномиального сглаживания позволило выявить циклический характер в изменении характеристик ЦДА. В частности, показано, что колебания интенсивности и местоположения азорского максимума и исландского минимума в зимний период происходят квазисинхронно. Таким образом, очевидно, что многолетняя динамика местоположения и интенсивности ЦДА носит в основном не линейный, а циклический характер. Данный факт свидетельствует о том, что изменения характеристик ЦДА имеют многофакторную природу.

Оценка корреляционных связей между характеристиками ЦДА зимой показала, что наиболее значимая связь наблюдается, как и следовало ожидать, между характеристиками Северо-Атлантических центров действия. При этом наибольшая положительная связь наблюдается в поведении координат центра азорского антициклона ( $r = 0,72$ ), т.е. смещаясь к северу, он одновременно стремится к востоку, и наоборот, устремляясь в более низкие широты, он перемещается к западу. Подобная связь наблюдается и для координат центра исландского минимума ( $r = 0,70$ ). Наибольшая отрицательная связь наблюдается в колебаниях атмосферного давления в центрах азорского и исландского ЦДА ( $r = -0,60$ ), то есть, с углублением исландского минимума связан рост атмосферного давления в центре азорского максимума, и наоборот.

Как известно, одной из важных причин эволюции значений атмосферного давления ЦДА, является изменение местоположения их центра. В реальной атмосфере зависимость интенсивности вихрей от их пространственного положения гораздо более сложная. Для изучения такого рода зависимостей рассчитывались коэффициенты множественной корреляции  $R_{P,\varphi,\lambda}(1)$  и строились уравнения регрессии (2):

$$R_{P,\varphi,\lambda} = \sqrt{\frac{r_{P\varphi}^2 + r_{P\lambda}^2 - 2r_{P\varphi}r_{P\lambda}r_{\varphi\lambda}}{1 - r_{\varphi\lambda}^2}}, \quad (1)$$

$$p = a_1\varphi + a_2\lambda + b, \quad (2)$$

где  $r_{p\varphi}, r_{p\lambda}, r_{\varphi\lambda}$  – значения частных коэффициентов линейной корреляции между давлением и широтой, давлением и долготой, широтой и долготой соответственно;  $a_1, a_2$  – весовые множители (функции влияния), показывающие величину вклада многолетнего изменения координат ЦДА в изменение интенсивности атмосферного давления,  $b$  – свободный член уравнения регрессии.

Полученные коэффициенты множественной корреляции показали, что между интенсивностью ЦДА и их местоположением существует достаточно надёжная связь. Лучше всего она прослеживается у азорского максимума ( $R_{p,\varphi,\lambda} = 0,729$ ), для сибирского максимума и исландского минимума в целом наблюдаются менее значимые связи ( $R_{p,\varphi,\lambda} = 0,421$  и  $R_{p,\varphi,\lambda} = 0,418$  соответственно). При этом достоверность рассматриваемых связей ( $P$ ) достаточно велика ( $0,95 < P < 0,99$ ). Таким образом, по значениям  $R^2$  пространственная миграция ЦДА объясняет от 17 (исландский минимум) до 53% (азорский максимум) всех особенностей эволюции давления в них.

Представленные в табл. 2 уравнения регрессии показывают, что влияние пространственной миграции Северо-Атлантических ЦДА на изменение их интенсивности проявляется в основном через изменение их географических широт. Для сибирского максимума наблюдается иная зависимость, изменение атмосферного давления в его центре в большей степени определяется долготой места.

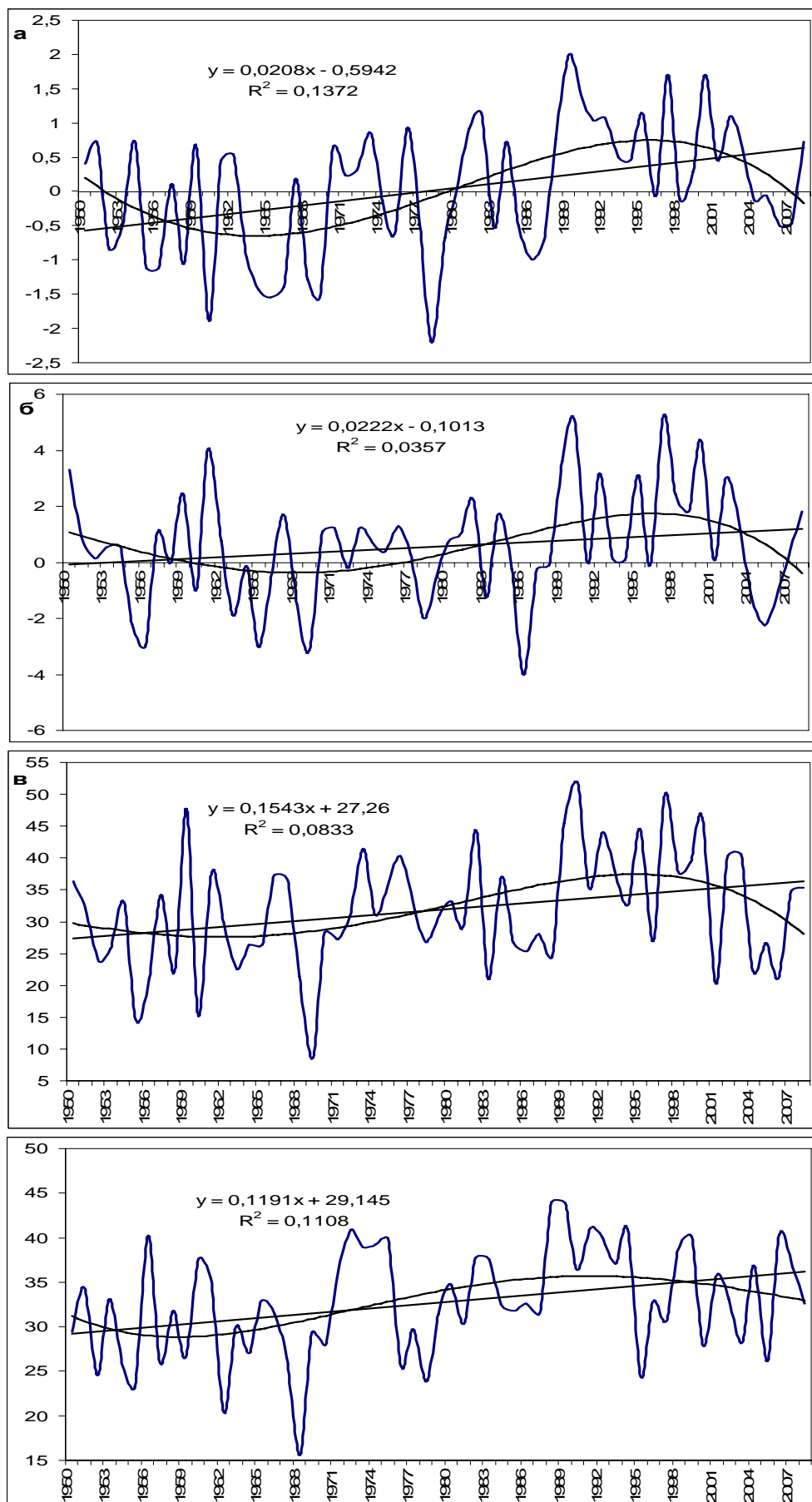
Анализ знаков весовых множителей, стоящих перед  $\varphi$ , подтверждает теорему Россби: азорский и сибирский максимумы зимой, смещаясь к северу, усиливаются, а исландский минимум углубляется.

**Таблица 2**

**Зависимость значений атмосферного давления (p, гПа)  
в центральных частях ЦДА от их пространственного положения  
в среднем за зиму (1948-2009 гг.)**

Наименование ЦДА	Уравнения регрессии
исландский минимум	$p = -0,545 \varphi + 0,097 \lambda + 1028,2$
азорский максимум	$p = 0,489 \varphi - 0,031 \lambda + 1006,9$
сибирский максимум	$p = 0,156 \varphi + 0,220 \lambda + 1012,1$

Значительный практический интерес представляет также индекс САК, как один из наиболее распространенных индексов, характеризующих интенсивность зональной циркуляции во внетропических широтах Северной части Атлантического океана.



**Рис. 2.** Динамика индекса САК (NAO) по данным: NCEP реанализа (а), East Anglia University (б); разность атмосферного давления между азорским и исландским ЦДА (в) в феврале и в среднем за зиму (г).

Существуют несколько методик подсчета данного индекса, но наиболее часто индекс САК вычисляется на основе стационарных данных как разность нормированного давления, приведенного к уровню моря, на станциях Лиссабон и Рейкьявик, или же на станциях Гибралтар и Рейкьявик. Однако, независимо от методики подсчета, значение этого индекса всегда отражает перепад атмосферного давления между северной и южной частями Северной Атлантики, а соответственно, определяет и интенсивность зональной циркуляции.

Проведенный анализ показал, что наиболее значимые изменения индекса САК и разности атмосферного давления между азорским и исландским ЦДА наблюдаются в феврале, в январе они менее заметны, а в декабре линейная составляющая тренда практически отсутствует. При этом в среднем за зиму также наблюдается увеличение разности давления между азорским и исландским ЦДА (рис. 2).

Таким образом, в течение периода 1948–2009 гг., межширотные градиенты атмосферного давления над Северной Атлантикой зимой увеличивались, что влекло за собой увеличение интенсивности переноса воздушных масс с Атлантики на Евроазиатский континент и приводило там к соответствующим изменениям метеорологического режима.

**В третьей главе** представлен анализ пространственно-временных изменений основных климатических характеристик на территории Республики Татарстан (РТ). Известно, что на территории РТ, как и в остальных регионах, относящихся к внетропическим широтам, наблюдается преобладание западного переноса воздуха в тропосфере и нижней стратосфере, что обуславливает большое влияние на местный климат атлантических воздушных течений, которые смягчают и увлажняют его, несмотря на значительную удаленность территории от океана. Вместе с тем сюда поступают и воздушные массы, сформировавшиеся в других, в том числе и резко континентальных районах и обладающие специфическими термогигрометрическими свойствами.

Горизонтальные градиенты давления зимой значительно больше, чем летом, что обуславливает повышенный уровень скоростей воздушных течений. В пределах территории республики средние многолетние (1966–2004 гг.) значения атмосферного давления, приведенного к уровню моря, в отдельные месяцы меняются сравнительно мало (на 0,5–2,9 гПа), особенно летом. В годовом ходе наибольшие его значения отмечаются в холодный период, наименьшие в теплый. При этом среднее месячное давление меняется от 1020,7–1022,5 гПа в марте до 1010,5–1011,3 гПа в июле; амплитуда его годового хода составляет 9,5–11,7 гПа, а среднее годовое давление равно 1015,1–1016,9 гПа.

Амплитуда многолетних колебаний среднего месячного давления зимой примерно в три раза больше, чем летом. Амплитуда колебаний средних годовых значений давления сравнительно невелика, около 10 гПа. Межгодовые изменения атмосферного давления за исследуемый период происхо-

дили на фоне низкочастотных его колебаний с периодичностью в несколько лет. Прослеживаются также слабые тренды падения давления в зимние месяцы (январь, февраль), что подтверждается соответствующими трендами роста температуры воздуха, обусловленными преобладанием циклонических процессов, особенно в последние годы.

Ветровой режим в основном определяется сезонными особенностями структуры барического поля, а также формой рельефа, характером подстилающей поверхности и открытостью места установки приборов. В среднем за год преобладающим направлением ветра для четверти горизонта на территории республики является юго-западное, его вероятность составляет 36%. Преобладание юго-западного ветра более резко выражено в зимний период, когда ось зимнего сибирского максимума давления проходит южнее изучаемой территории, а преобладание западного тропосферного переноса при больших горизонтальных градиентах давления обуславливает большую повторяемость юго-западных и южных ветров с повышенными скоростями. Летом перестройка структуры барического поля обуславливает в среднем направление изобар с северо-запада на юго-восток, что приводит к возрастанию повторяемости западных, северо-западных и северных направлений ветра при уменьшении частоты юго-западных, южных и юго-восточных ветров. Средние месячные скорости ветра на высоте 10–12 м от поверхности земли характеризуются меньшими значениями в летний период (2–4 м/с) и большими – в зимний (3–5,5 м/с), что обусловлено, как отмечалось, уменьшением градиентов давления от зимы к лету.

Средняя многолетняя годовая температура воздуха на всей территории положительная и имеет более низкие значения на северо-западе, северо-востоке и юго-востоке РТ в районе Бугульминско-Белебеевской возвышенности. В январе, самом холодном месяце года, средняя многолетняя температура воздуха понижается с запада на восток от  $-11,5^{\circ}$  (ст. Дрожжаное) до  $-12,9^{\circ}\text{C}$  (ст. Бугульма), т.е. ее изменения по территории в январе не столь значительны и составляют  $1,4^{\circ}\text{C}$ .

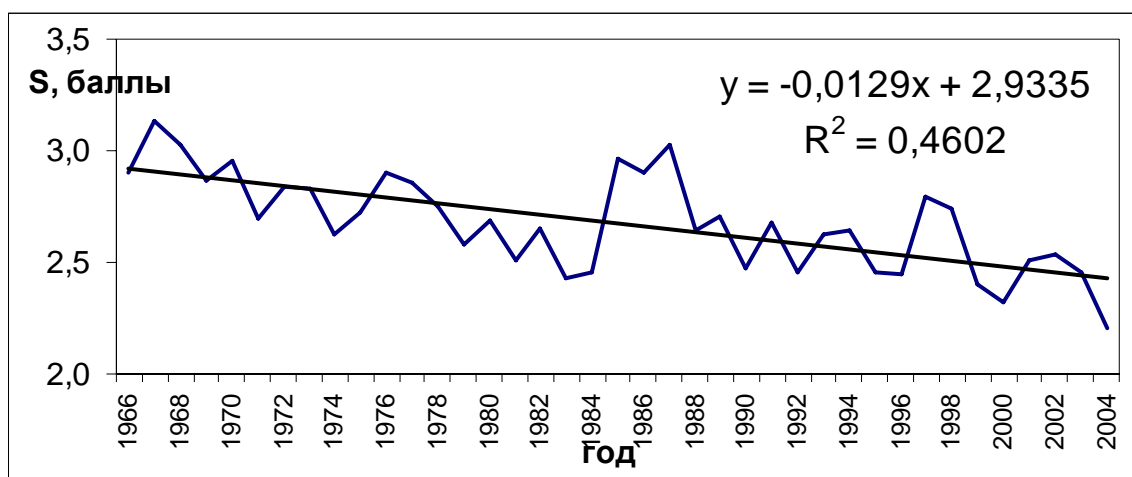
Как известно, в середине 70-х годов XX столетия в глобальном масштабе произошел устойчивый переход к положительным аномалиям температуры воздуха относительно базового периода 1961–1990 гг. Аналогичная ситуация сложилась в целом по России и, в частности, на территории РТ. Расчеты показали, что наиболее значительные положительные изменения температурного режима происходили в январе и феврале, т.е. потепление на территории РТ формируется в основном за счет зимних месяцев.

В среднем по республике многолетняя годовая сумма осадков составляет около 500 мм. При этом в теплый период выпадает 350 мм, что более чем в два раза превосходит осадки холодного периода – 150 мм. Минимумы в годовом ходе осадков на всех станциях наблюдаются в марте, максимумы же на большинстве станций имеют место в июне. При этом в холодный период года

распределение осадков по территории РТ менее изменчиво в сравнении с теплым периодом.

В целом на территории РТ в последние десятилетия произошло уменьшение степени континентальности климата, главным образом, вследствие участвовавших теплых зим. Оценка жесткости погоды в холодный период года, проводимая с использованием значений индекса Бодмана, показала, что зима в целом на всей территории республики является умеренно суровой. При этом, как и следовало ожидать, наиболее суровым за холодный период года оказался январь, для которого среднее значение индекса по республике составляет 2,3. Разброс значений индекса Бодмана по станциям сравнительно мал, значение его среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ) колеблется в пределах от 0,11 в апреле до 0,18 в декабре и феврале.

На рис. 3 представлена динамика индекса Бодмана на территории РТ, рассчитанного по средним месячным значения температуры и скорости ветра.



**Рис. 3.** Динамика среднего по территории РТ индекса Бодмана зимой.

Установлено, что в среднем на всей территории РТ отчетливо прослеживается тенденция к ослаблению суровости как зимы в целом, так и отдельных ее месяцев. При этом наиболее быстрыми темпами уменьшается суровость января. Поэтому, если выявленная тенденция продолжится, то через несколько десятилетий зимы на территории РТ согласно классификации индекса Бодмана можно будет отнести к категории малосуровых.

Таким образом, следует особо отметить, что в современный период на территории РТ наиболее существенные изменения температуры воздуха происходили зимой.

**В четвертой главе** рассматриваются связи характеристик ЦДА с метеорологическими величинами на территории РТ. Как известно, одними из наиболее важных метеорологических величин, характеризующими климат территории, является температура воздуха и атмосферные осадки, поэтому

основное внимание уделено анализу связей характеристик ЦДА именно с этими величинами.

Ранее отмечалось, что изменение интенсивности циркуляции в Северной Атлантике приводит к определенным изменениям метеорологических величин на континенте Евразии. Представленные в табл. 3 данные подтверждают, что определяющую роль в формировании аномалий температуры воздуха на территории РТ зимой играют исландский минимум и азорский максимум. Коэффициенты линейной корреляции аномалий температуры воздуха с параметрами сибирского максимума незначимы.

**Таблица 3**

**Коэффициенты линейной корреляции между характеристиками ЦДА и аномалиями температуры воздуха за зиму на некоторых метеорологических станциях РТ (1948–2004 гг.)**

ЦДА	Характеристика ЦДА	Станции		
		Вязовые	Чулпаново	Бугульма
исландский минимум	$\varphi$	0,60	0,54	0,58
	$\lambda$	0,37	0,35	0,41
	$p$	–0,49	–0,49	–0,4
азорский максимум	$\varphi$	0,34	0,3	0,34
	$\lambda$	0,21	0,21	0,21
	$p$	0,53	0,46	0,45
сибирский максимум	$\varphi$	–0,11	–0,09	–0,11
	$\lambda$	–0,03	0,1	0,07
	$p$	–0,11	–0,15	–0,08

Установлено также, что в формировании аномалий зимних осадков определяющую роль на данной территории играет смещение исландского минимума по долготе.

Произведена оценка того, в какой мере колебания средних сезонных характеристик ЦДА могли бы быть использованы для прогноза аномалий зимних температур воздуха и атмосферных осадков на территории РТ. Так как наиболее продолжительный ряд значений температуры воздуха и атмосферных осадков (1948–2009 гг.) имелся только по станции Казань, университет, то для получения соответствующих выводов использовались ее данные. Учитывая, что пространственная связь, как по температуре воздуха, так и по атмосферным осадкам, на метеорологических станциях РТ достаточно высока,



выводы, полученные для станции Казань, университет можно с большой вероятностью распространить и на всю территорию республики.

Для решения поставленной задачи использовался метод «наложенных эпох». При этом таблицы многолетних данных о характеристиках ЦДА представлялись в виде некоторой матрицы:

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1k} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & m_{nk} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $m_{ij} (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, k})$  – характеристики ЦДА в зимние месяцы,  $i$  – годы,  $j$  – порядковый номер характеристики ЦДА. Далее по каталогу отбирались годы, когда на территории РТ в декабре–феврале имели место положительные аномалии температуры (осадков) и с помощью (3) формировалась подвыборка

$$M_1 = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n_1 1} & x_{n_1 2} & \dots & x_{n_1 k} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где  $x_{ij}$  – те же характеристики ЦДА в годы, когда наблюдались положительные аномалии температуры (осадков). Затем аналогично (4) формировалась подвыборка, с годами, когда наблюдались отрицательные аномалии температуры (осадков)

$$M_2 = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{n_2 1} & y_{n_2 2} & \dots & y_{n_2 k} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

В формулах 4 и 5  $n_1$  – число лет, когда выполнялось первое условие (положительные аномалии), а  $n_2$  – число лет, когда выполнялось второе условие (отрицательные аномалии). Очевидно, что сумма

$$n = n_1 + n_2 \quad (6)$$

определяет общий объём выборки матрицы  $M$ .

Далее для каждого столбца выборок  $M_1, M_2$  разыскивались значения функции, которая подчиняется « $t$  – распределению» Стьюдента:

$$t_j = \left| \bar{x}_j - \bar{y}_j \right| \left[ \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{(n_1 + n_2) (n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2)} \right]^{0,5}, \quad (7)$$

где  $\bar{x}_j, \bar{y}_j$  – средние арифметические значения столбцов матриц  $M_1, M_2$ ;  $n_1, n_2$  – число строк;  $\sigma_1^2, \sigma_2^2$  – дисперсии тех же столбцов.

Если при заданном, достаточно малом значении уровня значимости  $\alpha$  и

$$m = n_1 + n_2 - 2 \quad (8) \quad \text{числе}$$

степеней свободы окажется, что  $t > t_{\alpha, m}$ , определяемого по таблицам « $t$  – распределения», то с надёжностью

$$P = (1 - \alpha) \quad (9) \quad \text{можно}$$

считать, что колебания рассматриваемой характеристики ЦДА оказывают своё влияние на формирование аномалий режима температуры и атмосферных осадков, и, наоборот, если  $t \leq t_{\alpha, m}$ .

Расчёт функции  $t$  и последующее ее сравнение показали, что из полного состава тестируемых предсказателей в отношении ожидаемого характера аномалий температуры воздуха в зимний период на территории РТ прогностически информативными являются изменения атмосферного давления в центре исландского минимума ( $t=3,704$ ) и давление в центре азорского максимума ( $t=1,970$ ). Все остальные характеристики ЦДА в отношении аномалий температуры воздуха имеют меньшую надежность.

Выявлено, что положительным аномалиям температуры воздуха на территории РТ с доверительной вероятностью более 99% соответствует относительно низкое давление в центре исландского минимума (990,8 гПа), и с доверительной вероятностью более 96% относительно высокое давление в центре азорского максимума (1025,5 гПа). Отрицательным аномалиям в среднем соответствует относительно высокое давление в центре исландского минимума (995,1 гПа) и относительно низкое давление в центре азорского максимума (1023,9 гПа). Обнаруженная закономерность имеет достаточно четкое физическое толкование: чем больше перепад давления между Северо-Атлантическими ЦДА, тем интенсивнее будет зональный воздухообмен, а соответственно на территорию РТ будет поступать больше теплого воздуха с Атлантики, поэтому будут наблюдаться положительные аномалии температуры воздуха, и, наоборот, при уменьшении разности давлений между азорским и исландским ЦДА.

Что касается аномалий осадков, то прогностически информативной оказалась долгота исландского минимума ( $t=1,770$ ), ее в этих целях можно использовать с вероятностью более 91%, все остальные характеристики ЦДА имеют значительно меньшую доверительную вероятность. Положительным

аномалиям осадков на территории РТ соответствует более западное положение исландского минимума, и, наоборот, для отрицательных аномалий.

Предпринята также попытка использовать полученные предикторы для составления ретроспективных прогнозов аномалий температуры воздуха и атмосферных осадков. Методологической основой для построения данного двухфазного долгосрочного метеорологического прогноза послужил метод дискриминантного анализа – «метод средних эталонов», суть которого состоит в следующем. Исходный архив данных по ЦДА делился на две подвыборки: обучающую (1948–1986 гг.) и независимую (1987–2009 гг.). Заблаговременность прогнозов принималась нулевой.

Затем на материалах обучающей выборки определяется оптимальный состав и вид «эталонных векторов»  $\bar{x}, \bar{y}$ :

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_n \end{pmatrix} = \|\bar{x}_i\|, \quad (10)$$

$$\bar{y} = \begin{pmatrix} \bar{y}_1 \\ \bar{y}_2 \\ \vdots \\ \bar{y}_n \end{pmatrix} = \|\bar{y}_i\|, \quad (11)$$

где  $i = \overline{1, n}$ ;  $\bar{x}_i, \bar{y}_i$  – информативные компоненты ЦДА в зимний период.

Из независимой выборки (1987–2009 гг.), включающей в себя характеристики ЦДА, отбираем вектор  $z = \|z_i\|$  того же состава и той же размерности, что и информативные векторы  $\bar{x}, \bar{y}$ . Компоненты всех векторов предварительно центрируются и нормируются. После этого вычисляются функции:

$$\zeta(z, \bar{x}) = \frac{(z^T \bar{x})}{[(z^T z)(\bar{x}^T \bar{x})]^{0.5}} + \frac{1}{1 + (z - \bar{x})^T (z - \bar{x})}, \quad (12)$$

$$\zeta(z, \bar{y}) = \frac{(z^T \bar{y})}{[(z^T z)(\bar{y}^T \bar{y})]^{0.5}} + \frac{1}{1 + (z - \bar{y})^T (z - \bar{y})}, \quad (13)$$

представляющие собой комплексные показатели сходства сравниваемых векторов. При этом  $-1,0 \leq \zeta(z, \bar{x}) \leq 2,0$ ,  $-1,0 \leq \zeta(z, \bar{y}) \leq 2,0$ .

Решающие прогностические правила формулируются так: если окажется, что  $\zeta(z, \bar{x}) > \zeta(z, \bar{y})$ , то будущее положение предиктанта следует ожидать в классе А, и, наоборот, – в классе В, если окажется, что  $\zeta(z, \bar{x}) < \zeta(z, \bar{y})$ . Случаи с  $\zeta(z, \bar{x}) = \zeta(z, \bar{y})$  относятся к числу маловероятных.

Для составления ретроспективных прогнозов аномалий осадков и температуры воздуха использовалось по одному предиктору, выбранному по наибольшей доверительной вероятности. По итогам проведенного эксперимента удалось получить следующие результаты (табл. 4).

**Таблица 4**

**Оценка качества долгосрочных прогнозов аномалий температуры воздуха и атмосферных осадков зимой за период 1987–2009 гг.**

Вид прогноза	Число испытаний	Характеристики качества прогнозов			
		F	$F_0$	$\Delta F$	H
Прогноз аномалий температуры воздуха	22	77,3	62,3	14,8	0,395
Прогноз аномалий осадков	22	59,1	50,0	9,1	0,182

Примечание:  $F$  – оправдываемость методических прогнозов,  $F_0$  – оправдываемость случайных прогнозов,  $\Delta F$  – методический выигрыш в %, H – критерий Багрова.

Очевидно, что использование характеристик ЦДА для прогноза аномалий как температуры воздуха, так и количества осадков на территории РТ является вполне оправданным, так как методический выигрыш составляет 9–15%.

**В заключении диссертации формулируются следующие основные выводы:**

1. Выявлены особенности изменчивости интенсивности и географических координат местоположения ЦДА I ЕСР в современный период (1948–2009 гг.) в декабре–феврале. Установлено, что зимой в пространственной динамике Северо-Атлантических ЦДА преобладает зональная составляющая движения (вдоль широтных кругов). Подтверждается также справедливость положения о господстве западного переноса в тропосфере умеренных широт и его влиянии на преобладающие траектории движения приземных барических образований.

2. Оценка корреляционных связей характеристик ЦДА показала, что зимой наиболее тесная связь наблюдается между исландским минимумом и азорским максимумом. Наибольшая положительная связь наблюдается в поведении координат ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) центра азорского максимума ( $r = 0,72$ ) и исландского минимума ( $r = 0,70$ ). Наибольшая отрицательная связь наблюдается между значениями атмосферного давления в центрах азорского и исландского

ЦДА ( $r = -0,60$ ), когда с углублением (заполнением) исландского минимума связан рост (падение) атмосферного давления в центре азорского максимума.

3. Получены уравнения регрессии, согласно которым влияние пространственной миграции центров действия атмосферы на изменение их интенсивности проявляется в основном через изменение географических широт. Лучшее всего эта множественная корреляционная связь в среднем за зиму прослеживается для азорского максимума ( $R_{P,\varphi,\lambda} = 0,729$ ), пространственная миграция которого объясняет до 53% всех особенностей эволюции давления в его центре.

4. Анализ тенденций временных изменений индексов САК и разностей атмосферного давления между ЦДА показал, что за исследуемый период наблюдалось увеличение межширотных градиентов атмосферного давления над Северной Атлантикой зимой, особенно в феврале, которое приводило к увеличению западного переноса воздушных масс с Атлантики на Евразийский континент.

5. Показано, что на территории РТ в современный период происходят наиболее значительные положительные изменения температурного режима в январе и феврале (на фоне трендов падения атмосферного давления), тем самым формируется увеличение средних годовых температур воздуха. Анализ динамики индекса Бодмана подтверждает тенденцию к ослаблению суровости погодных условий зимы в целом и отдельных ее месяцев. При этом наиболее быстрыми темпами уменьшается суровость в январе.

6. Методом «наложенных эпох» установлено, что определяющую роль в формировании аномалий температуры воздуха на территории РТ зимой играет изменение интенсивности исландского минимума и азорского максимума. В формировании же аномалий количества осадков решающую роль играет смещение исландского минимума вдоль широты.

7. Проведенный прогностический эксперимент методом «средних эталонов» показал, что использование характеристик ЦДА для долгосрочного прогноза аномалий температуры воздуха и количества атмосферных осадков на территории РТ является вполне оправданным, поскольку методический выигрыш по сравнению со случайным прогнозом составляет 9–15%.

## Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

### Публикации в ведущих рецензируемых журналах перечня ВАК

1. Верещагин М.А. Многолетние изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Казани / М.А.Верещагин, Ю.П.Переведенцев, Э.П.Наумов, К.М.Шанталинский, **Ф.В.Гоголь** // Уч. записки Казанского ун-та. Естественные науки. – 2005. – Т. 147. – Кн. 3. – С.151-166.
2. Переведенцев Ю.П. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий / Ю.П.Переведенцев, **Ф.В.Гоголь**, Э.П.Наумов, К.М.Шанталинский // Вестник Воронежского ун-та. Серия география и геоэкология. – 2007. – № 2. – С. 3-11.
3. Верещагин М.А. О некоторых проявлениях марковских свойств многолетней динамики аномалий термического режима в Казани / М.А.Верещагин, Ю.П.Переведенцев, К.М.Шанталинский, **Ф.В.Гоголь** // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 5. – С. 60-68.
4. Переведенцев Ю.П. Современные изменения климата Республики Татарстан / Ю.П.Переведенцев, Н.В.Исмагилов, Б.Г.Шерстюков, Э.П.Наумов, К.М.Шанталинский, **Ф.В.Гоголь** // Вестник Воронежского государственного ун-та. Серия: География и геоэкология. – 2008. – № 2. – С. 13-23.
5. Переведенцев Ю.П. Режим температуры воздуха и атмосферных осадков в Республике Татарстан / Ю.П.Переведенцев, Б.Г.Шерстюков, Э.П.Наумов, К.М.Шанталинский, **Ф.В.Гоголь** // Ученые записки Казанского ун-та. Естественные науки. – 2008. – Т. 150. – Кн. 1. – С. 182-190.
6. **Гоголь Ф.В.** Динамика центров действия атмосферы и их влияние на климат Республики Татарстан в современный период // Ученые записки Казанского ун-та. Естественные науки. – 2008. – Т. 150. – Кн. 4. – С. 39-43.
7. Переведенцев Ю.П. Биоклиматическая характеристика Республики Татарстан / Переведенцев Ю.П., Исмагилов Н.В., Наумов Э.П., **Гоголь Ф.В.**, Шанталинский К.М., Исаева М.В. // Ученые записки Казанского университета. Естест. науки. – 2009. – Т. 151. – Кн. 3. – С. 239-246.

### Публикации в других изданиях

8. Переведенцев Ю.П. Характеристики климата Казани и состояние окружающей среды / Ю.П.Переведенцев, Р.Х.Салахова, Н.В.Исмагилов, Э.П.Наумов, К.М.Шанталинский, **Ф.В.Гоголь** // Проблемы анализа риска. – 2007. – Т. 4. – № 2. – С. 152-164.
9. Переведенцев Ю.П. Динамика полей температуры воздуха Северного полушария в современный период / Ю.П.Переведенцев, **Ф.В.Гоголь**, Э.П.Наумов, К.М.Шанталинский // Проблемы анализа риска. – 2007. – Т. 4. – № 1. – С. 73-82.

10. **Гоголь Ф.В.** Пространственно-временная изменчивость параметров центров действия атмосферы в холодный период. Современные глобальные и региональные изменения геосистем // Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 200-летию Казанского университета. – Казань, 2004. – С. 298-299.

11. **Гоголь Ф.В.** Об изменении основных показателей климата в тропосфере Северного полушария за последние десятилетия / **Гоголь Ф.В.**, Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. // Тезисы докладов Второй конференции молодых ученых Национальных Гидрометслужб государств-участников СНГ «Новые методы и технологии в гидрометеорологии» (2–3 октября 2006 г., г. Москва). – М., 2006. – С. 29.

12. Переведенцев Ю.П. Биоклиматические условия Республики Татарстан / Ю.П.Переведенцев, Н.В.Исмагилов, Б.Г.Шерстюков, Э.П.Наумов, К.М.Шанталинский, **Ф.В.Гоголь** // Журнал экологии и промышленной безопасности. – 2007. – № 3. – С. 83-86.

13. Переведенцев Ю.П. Климатические условия последних десятилетий на территории Татарстана // Ю.П.Переведенцев, Б.Г.Шерстюков, Э.П.Наумов, М.А.Верещагин, Ю.Г.Хабутдинов, Н.В.Исмагилов, В.Д.Тудрий, **Ф.В.Гоголь** // Вестник Белорусского государственного ун-та. Серия 2 (химия, биология, география). – 2008. – № 3. – С. 98-102.

14. **Гоголь Ф.В.** Динамика центров действия атмосферы и климат Республики Татарстан // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований: Тр. Всеросс. науч. конф. с международным участием. – Казань: «Отечество», 2009. – Т. 2. – С. 65-69.

Отпечатано в множительном центре  
Института истории АН РТ

Подписано в печать 27.04.2010. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Тираж 100 экз. Усл. печ. л. 1,5  
г. Казань, Кремль, подъезд 5  
Тел. 292-95-68, 292-18-09